



TITLE:

Study on Methods for Performance Improvement of Thermionic RF Gun(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Torgasin, Konstantin

CITATION:

Torgasin, Konstantin. Study on Methods for Performance Improvement of Thermionic RF Gun. 京都大学, 2019, 博士(エネルギー科学)

ISSUE DATE:

2019-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21472>

RIGHT:

The content of the thesis was published in two articles and an additional article was submitted. The copyright owners are the American Physical Society (<https://journals.aps.org/prab/>) and the IOP Publishing (<http://iopscience.iop.org/>). Both publishers agree to publishing in the repository of the university if no fee is imposed and the publishers are mentioned in the thesis. Both conditions are fulfilled.

様式 I

博士学位論文調査報告書

論文題目

Study on Methods for Performance Improvement of Thermionic RF Gun

(熱陰極高周波電子銃の性能改善方式に関する研究)

申請者

Konstantin Torgasin

最終学歴

平成 29 年 3 月
京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻博士後期課程
(研究指導認定退学)

学識確認

平成 年 月 日 (論文博士のみ)

調査委員
(主査)

京都大学大学院エネルギー科学研究科
准教授 増 田 開

調査委員

京都大学大学院エネルギー科学研究科
教 授 長 崎 百 伸

調査委員

京都大学大学院エネルギー科学研究科
教 授 大 垣 英 明

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	Konstantin Torgasin
論文題目	Study on Methods for Performance Improvement of Thermionic RF Gun (熱陰極高周波電子銃の性能改善方式に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、小型でシンプルな構成で高エネルギー電子ビームパルスを高繰り返しで生成可能な熱陰極高周波電子銃について、ピーク電流やパルス列の長さ（マクロパルス長）が制限される課題の改善を目的に、長マクロパルス化の妨げとなっている Back- Bombardment 現象と呼ばれる問題の解決を目的とした高周波三極管方式と、熱陰極からの光電子放出を利用することで長マクロパルス化に加えて高ピーク電流化も期待される熱励起補助光電子放出について、実験的・理論的研究を行った結果をまとめたもので、6 章からなっている。</p>			
<p>第 1 章の序論では、先ず、エネルギー材料開発に対する自由電子レーザの有用性を論じると共に、自由電子レーザを駆動する電子ビームの特性に対する要求と熱陰極高周波電子銃の適用の必要性について述べ、研究目的と背景を明らかにしている。また、京都大学中赤外自由電子レーザ KU-FEL に用いられている熱陰極高周波電子銃の 2 つの動作モードについて課題を述べており、熱電子モードにおいては Back- Bombardment 現象の解決策が、また、短パルスレーザ照射による熱陰極からの光電子放出を利用する光電子モードにおいては量子効率の向上が、それぞれ必要であることを指摘している。更に、本論文全体の構成について述べている。</p>			
<p>第 2 章では、熱陰極高周波電子銃の動作原理と、生成電子ビーム特性についての課題と改善策についての理論的背景を述べている。先ず、電子銃に利用される様々な電子放出機構と加速電界方式について論じ、熱電子放出と高周波電界を利用する熱陰極高周波電子銃においては、比較的長波長の自由電子レーザなど小型加速器への適用において優位性がある一方で、逆流電子ビームによる Back-Bombardment 現象が問題となっていることを述べている。次に、パルス高周波入力に対する高周波共振空洞の過渡応答とそれに対する電子ビーム負荷の影響を、等価回路モデルを用いて論じている。更に、高周波共振空洞内に放電を誘起するマルチパクタ現象のメカニズムを説明し、この現象が生起する周波数や電極間距離、二次電子放出係数などの条件について述べている。</p>			
<p>第 3 章では、Back- Bombardment 現象によってマクロパルス長が制限されるメカニズムと、それに対する既存の改善策を論じ、Back- Bombardment 現象に対する新たな解決法の開発が必要であることを述べている。</p>			
<p>第 4 章では、先ず、Back- Bombardment 現象の原因である逆流電子ビームの高周波三極管方式による削減について、その原理と方法について述べ、既存の改善策と</p>			

比べた特徴と期待される優位性について説明している。また、**KU-FEL** に用いられている熱陰極高周波電子銃に既設の熱陰極に代えて設置することで高周波三極管構造を構成できる熱陰極内蔵小型同軸共振空洞を、先行数値解析研究の設計に基いて製作し、熱陰極を加熱しない状態での高周波印加試験において **20 kV** を越える十分な高周波空洞電圧を印加することに成功している。

次に、製作した小型同軸共振空洞に内蔵の熱陰極を加熱して、ビーム加速試験を実施している。その結果、高周波電力の顕著な反射が見られ、結果として安定な定常動作を達成できないことを示した上で、その原因について検討した結果を論じている。具体的には、放電に起因すると考えられる電子ビーム電流の急激な増大が、高周波パルスの立ち上がり時または立ち下がり時の過渡状態など比較的低い空洞電圧の範囲で見られることを述べている。また、このような低い空洞電圧においては熱陰極から放出された電子が逆流して主に熱陰極周辺電極に衝突している可能性を数値解析で示し、この衝突箇所と対向する電極までの距離が第 2 章で述べたマルチパクタ現象の生起条件を満たすことを述べている。これらの結果から、観測された電子ビーム電流の急激な増大と高周波電力の顕著な反射が、マルチパクタ放電によるものであると結論づけている。

第 5 章では、先ず、熱励起補助による光電子放出の量子効率向上の原理と方法について述べると共に、特に共振器型自由電子レーザーのための高周波電子銃において光電子放出を利用する場合に、量子効率の向上や、より長波長のドライブレーザの適用を可能とすることの意義について論じている。

次に、候補陰極材料である **LaB₆** および **CeB₆** について、光電子放出電流の、陰極温度やドライブレーザの波長、強度への依存性を測定している。その結果、熱励起補助による量子効率の向上を実証すると共に、その効果が比較的長波長のレーザに対して顕著であることや、**CeB₆** に比して **Richardson** 定数の大きい **LaB₆** がより高い量子効率を示すこと、仕事関数を下回る長波長レーザでも熱励起補助によって単光子励起光電子放出が可能であることなどを見出している。

更に、実験で得られた量子効率の陰極温度依存性を、**Fowler-DuBridge** の光電子放出モデルや、状態密度分布を考慮した拡張モデルと比較している。その結果、特に比較的高温領域における実験結果が、これらのモデルでは説明できない強い温度依存性を示すことを明らかにし、光子吸収割合や、励起された電子の表面到達確率、表面脱出確率などへの陰極温度の影響を考慮した光電子放出モデルの修正の必要性を指摘している。

第 6 章は結論であり、熱陰極高周波電子銃の性能改善方式に関して本研究で得られた結果を要約している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、発振型自由電子レーザの高出力化や発振可能波長範囲の拡大など小型加速器の高性能化と利用拡大のため、熱陰極高周波電子銃による電子ビーム生成の高性能化を目指し、そのための 2 つの方式として、高周波三極管方式および熱励起補助光電子放出を利用する方式についての理論的・実験的研究を行った結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 先ず、高周波三極管方式について、先行数値解析研究による設計に基づく試作機を製作して実験を行い、パルス高周波入力立ち上がり時の過渡状態において電子ビーム電流の急激な増大が見られ、これが安定な定常動作を妨げることを明らかにした。

2. 実験で見られた電子ビーム電流の急激な増大が、マルチパクタ現象によるものであることを突き止めると共に、マルチパクタの発生箇所を数値解析などにより同定して改善のための指針を示した。

3. 次に、熱励起補助光電子放出を利用する方式について、その候補陰極材料である LaB_6 および CeB_6 について光電子放出特性を実験的に明らかにし、熱励起補助が光電子放出の量子効率向上に有効であることを示した。

4. 熱励起補助による量子効率の向上が比較的長波長のレーザに対して顕著であることや、仕事関数を下回る長波長レーザでも光電子放出が可能であることなど、簡便なドライブレーザによる実用化に向けて実際上有利な特性を有することを明らかにした。

5. 比較的高温領域における量子効率、従来の電子放出モデルや、状態密度分布を考慮した拡張モデルでは説明できない強い温度依存性を示すことを明らかにし、光電子放出モデルの修正の必要性を指摘した。

以上、本論文は、熱陰極高周波電子銃による電子ビーム生成の高性能化のための 2 つの手法について、それぞれ理論、実験両面で基礎的研究を行い、新たな知見を得ている。また、これらの手法の適用が熱陰極高周波電子銃の高性能化を可能とする新たな方式として有望であることを示しており、学術上・実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 10 月 25 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降